



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

ZALOŽENÍ VÝŠKOVÉ BUDOVY

FOUNDATION OF TALL BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

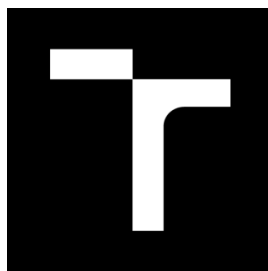
Bc. Michal Kubínek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILOŠ ZICH, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Michal Kubínek
Název	Založení výškové budovy
Vedoucí práce	doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2016
Datum odevzdání	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební podklady (půdorysy, řezy, pohledy).
2. Normy pro navrhování betonových konstrukcí ČSN, STN a EN.
3. Zich M., Bažant Z., Plošné konstrukce nádrže a zásobníky, Akademické nakladatelství Cerm, 2010.
4. Zich M., kol., Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů, Nakl. Verlag Daschofer, Praha 2011.
5. L. Grenčík: Betonové konstrukce II. SNTL/ALFA 1986.
6. D. Majdúch: Zásady vystužování betónových konstrukcí. ALFA 1984.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Provést návrh založení stavby výškové budovy dle předaných rozměrových, materiálových a zatěžovacích parametrů. Provést návrh nosných prvků. Řešení provést včetně nezbytné výkresové dokumentace (výkresy tvaru a výztuže). Vypracovat 2 varianty založení. Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)
Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení
P2. Výkresy - přehledné, podrobné a detaily (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce).

P3. Stavební postup

P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením založení stavby výškové budovy. Původní železobetonová desko-pilotová konstrukce založení byla posouzením na mezní stav únosnosti vyhodnocena jako nevyhovující. Byl zpracován návrh dvou nových variant založení: desko-pilotové základové desky s upravenou tloušťkou a základové desky bez pilot. Obě varianty byly posouzeny na mezní stavy únosnosti a použitelnosti. Varianty založení jsou navrženy jako vodo-nepropustné konstrukce bílé vany a splňují požadavky na tyto konstrukce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železobeton, základová deska, piloty, bílá vana, zakládání, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, mezní stav vzniku trhlin, beton, výztuž, zatížení, zemní tlak, těsnění spár, vodo-nepropustná konstrukce.

ABSTRACT

The diploma thesis describes design and assessment of foundation of tall building. Existing reinforced concrete slab-pile foundation structure was assessed as unsatisfactory at the ultimate limit state. Design of two new options was processed: slab-pile foundation with adjusted slab thickness and slab foundation without piles. Both options were assessed at the ultimate limit state and the serviceability limit state. Foundation options were designed as water-impermeable structure of white tank and meet requirements for this type of structures.

KEYWORDS

Reinforced concrete, slab foundation, piles, white tank, foundation, ultimate limit state, serviceability limit state of cracking, concrete, reinforcement, load, earth pressure, sealing joints, water-impermeable structure.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Michal Kubínek *Založení výškové budovy*. Brno, 2017. 26 s., 439 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2017

Bc. Michal Kubínek
autor práce

Poděkování:

Úvodem bych rád poděkoval panu doc. Ing. Miloši Zichovi, Ph.D. za ochotu, praktické rady a čas, který mi v rámci vypracovávání mé diplomové práce věnoval. Zároveň bych chtěl poděkovat vybraným vyučujícím z ústavu GTN FAST za praktické rady při řešení geotechnických konstrukcí. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině za podporu po celou dobu studia.

Obsah:

1	Úvod	9
2	Technická zpráva statiky	10
2.1	Charakteristika objektu	10
2.2	Podklady	10
2.3	Zatížení	10
2.4	Kombinace zatížení	11
2.5	Inženýrsko-geologický průzkum	12
2.6	Piloty	14
2.7	Základová deska	15
2.8	Použité materiály	16
2.9	Speciální konstrukce – Bílá vana	16
3	Stavební postup	18
3.1	Pracovní plošina pro pilotáž	18
3.2	Provádění pilot	18
3.3	Betonáž pilot	18
3.4	Osazení armokošů pilot	19
3.5	Osazení separačních folií	19
3.6	Montáž bednění	19
3.7	Výztuž základové desky	20
3.8	Betonáž základové desky	21
3.9	Ošetřování	21
4	Závěr	21
5	Seznam použitých zdrojů	23
6	Použitý software	24
7	Seznam použitých zkratk a symbolů	24
8	Seznam příloh	26

1 Úvod

Téma Zakládání výškové budovy jsem si zvolil pro jeho zásadní vliv na celou konstrukci. Správně navržené založení je základním pilířem celého budoucího objektu. Bez správného pochopení interakce vrchní a spodní stavby může dojít k hrubému podcenění návrhu vrchní stavby. Význam zakládání stoupá s významem a rozsahem dané konstrukce. U výškových budov nabývají síly, které musí být přeneseny základovou spárou, nebo hlubinným zakládáním značných hodnot. To klade výrazné nároky na vlastnosti zemin, které se nachází v podzákladí. Je třeba vhodně volit mezi hlubinným a plošným zakládáním, nebo jejich kombinací. Plošné zakládání přenáší síly vrchní konstrukce základovou spárou do podzákladí. Plošné zakládání má dále pozitivní vliv na tuhost konstrukce, protože ji spojuje v jeden celek. Hlubinné zakládání se obvykle volí, když únosnost v základové spáře není dostatečná, což se projevuje např. nadměrným sedáním, které dále zvyšuje vnitřní síly ve vrchní konstrukci. Jak jsem již naznačil, zakládání výškových budov se většinou snaží o vhodnou kombinaci těchto dvou druhů. Zakládání s sebou nese nároky na znalosti a odbornost projektanta. Je třeba porozumět jak problematice geotechnických konstrukcí, tak problematice navrhování betonových konstrukcí. Tuto kombinaci znalostí považuji za velmi potřebnou pro komplexní porozumění chování, návrhu a realizaci výškových i jinak náročných staveb.

Předmětem diplomové práce je návrh dvou variant založení výškové budovy. Řešený objekt se skládá z 3 podzemních a 22 nadzemních podlaží věžové části. Objekt je dále součástí většího celku sestávajícího se z dalších dvou věží vzájemně propojených 4 nadzemními podlažími. Původní železobetonová základová deska tohoto objektu je dvouúrovňová, menší část se nachází pod 2,5. podzemním podlažím, větší část pod 3. podzemním podlažím. Tloušťka desky je 0,9 m pod samotnou věží a 0,5 m pod zbývajících částmi objektu. Základová deska je podepřena pravidelnou soustavou pilot umístěných pod každým vertikálně zatíženým místem od vrchní stavby (sloupy, nosné stěny). Toto založení představuje z funkčního hlediska desko-pilotový základ. To znamená, že část zatížení vrchní stavby přebírá základová deska a přenáší jej do základové spáry a část přebírá soustava pilot. Základová konstrukce je provedena jako vodo-nepropustná (tzv. bílá vana). V této práci je řešena:

- **Analýza původní varianty založení**
- **Navržení úprav původní varianty založení**
- **Navržení nové varianty založení**

2 Technická zpráva statiky

2.1 Charakteristika objektu

Jedná se o návrh založení polyfunkčního výškového objektu, který se skládá z 3 podzemních a 22 nadzemních podlaží. Objekt je dále součástí většího celku sestávajícího se z celkem tří výškových objektů vzájemně propojených čtyřmi nadzemními podlažími. Hlavním účelem nadzemních podlaží je využití pro kancelářské prostory. Podzemní patra jsou využita pro parkování. Objekt se nachází v Bratislavě poblíž řeky Dunaje.

2.2 Podklady

Viz. P1. – Použití podklady.

2.3 Zatížení

Zatížení stálá a proměnná byla vyčíslena dle ČSN EN 1991–1–1 zatížení stavebních konstrukcí. Z hlediska zakládání měly největší účinek síly z vrchní konstrukce (2. a 3. ZS). Model je zatížen silami z vrchní stavby dle podkladů statiky vrchní stavby. Tyto síly byly vyděleny globálním součinitelem $\gamma_f = 1,2$ a přerozděleny v poměru 0,85 : 0,15 = stálé : proměnné zatížení.

Přehled zatěžovacích stavů:

- 1. ZS – stálé – vlastní tíha modelu
- 2. ZS – stálé – vrchní stavba
- 3. ZS – proměnné – vrchní stavba
- 4. ZS – stálé – zemní tlak – vlastní tíha zeminy
- 5. ZS – stálé – přitížení od vrchní stavby
- 6. ZS – proměnné – přitížení v okolí stavby + přitížení od vrchní stavby proměnné
- 7. ZS – stálé vztlak
- 8. ZS – ostatní stálé – příčky
- 9. ZS – ostatní stálé – garáže, sklepy
- 10. ZS – ostatní stálé – chodby, schodiště, technické místnosti
- 11. ZS – užitné – garáže – plné
- 12. ZS – užitné – garáže – šach 1
- 13. ZS – užitné – garáže – šach 2

- **14. ZS** – užitné – chodby, schodiště
- **15. ZS** – užitné – sklepy
- **16. ZS** – užitné – technické místnosti

Jednotlivé zatěžovací stavy jsou blíže popsány ve statickém výpočtu.

2.4 Kombinace zatížení

Kombinace pro mezní stavy únosnosti jsou sestavovány programem Scia Engineer tak, aby vybrané zatěžovací stavy (charakteristické hodnoty) vyvolaly po vynásobení příslušnými normovými koeficienty (návrhové hodnoty) nejnepříznivější účinek zatížení na posuzovaný prvek. Pro zjištění nejnepříznivější kombinace pro mezní stav únosnosti použijí normové rovnice. **6.10a a 6.10b dle ČSN EN 1990-1**. Vždy bude použita ta méně příznivá z nich. Pro mezní stav použitelnosti budou dále použity vybrané kombinace uvedené níže.

Kombinace pro Mezní stavy únosnosti

$$\text{rovnice 6. 10a; 6. 10b} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right.$$

Kombinace pro Mezní stav použitelnosti

Charakteristická kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Častá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

2.5 Inženýrsko-geologický průzkum

2.5.1 Inženýrsko-geologické poměry

Zájmové území se z hlediska inženýrsko-geologického nachází v regionu neogenních tektonických vkleslin, oblasti vnitro-karpatských nížin, oblast údolních říčních naplavenin. Lokalita leží na severozápadním okraji Podunajské nížiny. Z hlediska geologické stavby území jsou přítomny sedimenty kvartéru a neogénu.

Neogenní sedimenty byly zjištěny od hloubky 13,4 až 14,7 m, tj. úroveň cca 120,9 až 123,2 m. n. m., lokálně až od 118,0 m. n. m.. Souvrství bylo tvořeno nepravidelně se navzájem střídajícími, s proměnlivou mocností hlavně soudržných, méně písčitých zemin.

Neogenní soudržné zeminy byly zastoupeny převážně jílovými, méně hlinitými zeminami, a to jíly písčitými (CS), konzistence $I_c=1,05 - 1,19$, jíly s nízkou plasticitou (CL), konzistence $I_c=1,08 - 1,10$. Podle ČSN 73 1001 jsou jíly písčité zatříděny do třídy F4, hlíny se střední plasticitou do třídy F5, jíly s nízkou a se střední plasticitou do třídy F6 a jíly s vysokou plasticitou do třídy F8.

Neogenní písčité zeminy byly zjištěné v různých hloubkách. Tvořené jemně až střednězrnnými písky jílovitými (SC) zařazených do třídy S5 dle ČSN 73 1001.

Povrchové vrstvy kvartérních sedimentů byly tvořené různými navážkami (Y), které vznikly během výstavby areálu a následné úpravy terénu. Tyto vrstvy mají mocnost 0,9 – 2,1 m, pouze lokálně mohou mít mocnost 3,9 – 4,2 m. Prakticky celý povrch zájmového území tvoří asfaltovo-betonové plochy, místy vícevrstvé, v kombinaci s dlažebními kostkami a hlínou o tloušťce 0,1 – 0,4 m.

Pod uvedenými povrchovými vrstvami navážek následuje souvrství kvartérních jemnozrnných a písčitých sedimentů zastoupených ve vrchních částech jíly písčitými (CS), měkké až tuhé konzistence ($I_c=0,5 - 0,85$) a jíly s nízkou plasticitou (CL), měkké až tuhé konzistence ($I_c=0,5 - 0,94$), hlouběji jemnozrnnými písky s příměsí jemnozrnné zeminy (S-F) a jemnozrnnými písky jílovými (SC) s tuhou konzistencí. Podle ČSN 73 1001 jsou písčité jíly zatříděny do třídy F4, jíly s nízkou plasticitou do třídy F6, písky s příměsí jemnozrnných zemin do třídy S3 a písky jílovité do třídy S5.

Od hloubky 3,1 do 4,7, tj. od kóty cca 131,5 až 133,0 se nachází šterkovité sedimenty. Zastoupeny byly převážně šterky špatně zrněnými (GP).

V některých převzatých a realizovaných sondách byly v povrchových částech souvrství zjištěny 0,3 až 1,1 m mocné vrstvy šterků s příměsí jemnozrnných zemin (G-F). Na základě výsledků vykonaných dynamických a penetračních zkoušek je možno konstatovat, že šterkové

souvrství je na zájmovém území převážně středně uhlé s hodnotou relativní ulehlosti $I_d = 0,5 - 0,63$ a modulem deformace $E_{def} = 76$ MPa. Podle ČSN 73 1001 jsou štěrky zatříděny do třídy G2 a štěrky s příměsí jemnozrnných zemin do třídy G3.

Mezi stěrkovým souvrstvím byly v hloubce 7,4 až 8,9 m, mezi vrstvami štěrku s příměsí jemnozrnných zemin, zjištěny polohy kvartérních šedých až modrošedých jílu s nízkou plasticitou (CL), měkké konzistence ($I_c = 0,5$), ve kterých se ojediněle nacházely zbytky zuhelnatělého dřeva. Jedná se o lokální čocky uzavřené ve štěrkovém souvrství.

2.5.2 Hydrogeologické poměry

Průzkumnými sondami byla zjištěna podzemní voda v závislosti na kótě terénu v hloubce 5,3 až 6,6 m pod povrchem současného terénu, tj. na kótě od 130,24 do 130,33 m. n. m.. Jedná se o podzemní vodu s volnou hladinou, která je v přímé hydraulické spojitosti s hladinou vody v řece Dunaji. Zjištěná úroveň odpovídá po dobudování vodního díla na Dunaji průměrným až mírně podprůměrným vodním stavům.

Podle nejbližších pozorovacích objektů SHMÚ Bratislava číslo 705, 1449 a 724, může podzemní voda vystoupat po úroveň 132,6 m. n. m. ve výškovém systému Balt po vyrovnání. Pro výpočet zatížení vztlakem bude použita maximální hladina podzemní vody.

2.5.3 Závěrečné zhodnocení

Podle výsledků průzkumu je možno základové poměry v místě plánovaného objektu označit jako složité z důvodu výskytu vysoké vrstvy navážek, proměnlivé hloubky jednotlivých vrstev zemin a vysoké hladiny podzemní vody (při realizaci třech podzemních podlaží). Plánovaný objekt bude mít tři podzemní podlaží a dvacet dva podlažní věžové části, což je z hlediska ČSN EN 1997-1 považovat za konstrukci spadající do 3. třídy. Objekt jako celek je tedy zařazen z pohledu ČSN EN 1997-1 do 3. Geotechnické kategorie.

Zakládáním polyfunkčního objektu se uvažuje realizovat tři podzemní podlaží, základová spára bude tedy v hloubce 10 až 11 m, bude do vrstvy špatně zrněných štěrků (GP), které jsou převážně středně uhlé ($I_d = 0,5 - 0,83$) s modulem deformace $E_{def} = 76-112$ MPa. Vzhledem na plánovanou podlažnost objektu a proměnlivou ulehlost štěrkového souvrství, bude pravděpodobně potřebné polyfunkční komplex objektů zakládat hlubinným zakládáním.

Průzkumnými sondami byla zjištěna podzemní voda s volnou hladinou, v závislosti na místě realizace sondy v hloubce 5,3 a 6,6 m pod povrchem současného terénu, tj. na kótě od cca 130,2 do 130,3 m. n. m.. Zjištěná úroveň odpovídá průměrným až podprůměrným stavům

na Dunaji. Maximální hladina podzemní vody může na zájmovém území dosáhnout úrovně 132.6. m. n. m., tzn. že se ustálí v závislosti na kótě terénu a poloze v hloubce cca 1,8 až 4,3 m pod povrchem terénu. Z uvedeného vyplývá, že základová spára při realizaci třech podzemních podlaží bude trvale pod hladinou podzemní vody, z toho dále vyplývá nutnost odvodnění stavební jámy.

Vzhledem na příznivé koeficienty filtrace štěrko-písčitého souvrství a dostatečnou hloubku průměrné, resp. maximální úrovně hladiny podzemní vody, je možno konstatovat, že na zájmovém území jsou vhodné podmínky na realizaci vsakovacích systémů na odvod atmosférických vod z komunikací a ze střech.

Je nutno vykonat opětovný aktuální rozbor podzemní vody po výkopu stavební jámy, který by prokázal, že podzemní voda ve smyslu platných norem nemá agresivní účinky na betonové konstrukce.

2.6 Piloty

Piloty jsou navrženy v pravidelném rastru pod každým vertikálním zatížením od vrchní stavby. Nacházejí se tedy pod každým sloupem a pod nosnými stěnami. Průměry navržených pilot jsou 0,6 m, 0,9 m, 1,2 m. Délka pilot se pohybuje v rozmezí 6 – 9 m pro průměry 0,6 m a 0,9 m, dále pak 6 – 12 m pro piloty průměru 1,2 m. Piloty jsou navrženy jako plovoucí. Přenášejí zatížení jak svým pláštěm, tak patou piloty. Návrh pilot zohledňuje dvě možnosti jejich realizace. Piloty mohou být provedeny jako vrtané pod ochranou pažnice, nebo vrtané metodou CFA. Ve statickém výpočtu byla ověřena únosnost piloty na 1. mezní stav a stanovena mezní zatěžovací křivka piloty ve 2. mezním stavu dle Masopusta pomocí programu Excel a ověřeno v programu GEO 5. Dále bylo stanoveno krytí pilot: 110 mm pro průměr 0,6 m; 140 mm pro průměr 0,9 m; 170 mm pro průměr 1,2 m. na základě minimálního vyztužení pilot byla navržena vhodná výztuž. Výztuž se skládá z rovných prutů podélné výztuže Φ 16 mm – Φ 18 mm podle průřezu piloty. Podélná výztuž je s přesahem 600 mm do základové desky. Každá z pilot je dále osazena příčnou výztužnou spirálou Φ 6 mm – Φ 8 mm podle průřezu piloty. Výztuž je dále doplněna centrovacími příložkami pro zaručení krytí výztuže, distančními kruhy pro osazení podélné výztuže a ztužujícím kruhem v hlavě piloty. Nepředpokládá se přenos momentového zatížení z vrchní stavby. Momentové zatížení vrchní stavby bude přeneseno základovou deskou. Jediné momentové zatížení může vzniknout od dovolené tolerance polohy pilot oproti poloze vertikální síly (sloupu, stěny) z vrchní stavby.

2.7 Základová deska

2.7.1 Desko-pilotová původní varianta

Základová deska je v původní variantě monolitická železobetonová deska podepřená pilotami. Tloušťka základové desky je pod 2,5. podzemním podlažím 0,5 m, dále pak 0,5 m a 0,9 m v části pod 3. podzemním patrem. Deska je ve většině místech mezi sloupem a pilotou rozšířena. Rozšíření jsou tloušťky 0,1 – 0,3m. Chování původní základové desky bylo analyzováno programem Scia Engineer a posouzeno na mezní stavy únosnosti na ohybový moment a únosnosti v protlačení. Dále byla posouzena na mezní stav použitelnosti na omezení trhlin. Vzhledem k nevyhovujícímu posudku na protlačení byly navrženy dvě další varianty založení.

2.7.2 Desko-pilotová upravená varianta

První varianta byla navržena úpravou tloušťek původní desko-pilotové varianty. Tloušťky byly zvětšeny na 0,6 m pod 2,5. podzemním podlažím, 0,7 m, 1,0 m, 1,3 m pod 3. podzemním podlažím. Byla také přidána rozšíření 0,3 m do některých nejvíce namáhaných míst desky pod sloupy. Takto navržená varianta a její vyztužení vyhověla na všechny posuzované mezní stavy.

2.7.3 Desková varianta

Alternativou pro založení posuzovaného objektu byla zvolena varianta základové desky bez pilot. V této variantě deska přenáší celkové síly vrchní stavby do základové spáry, není již podepřena soustavou pilot. Tloušťka části desky byla navýšena na 0,8 m v části pod 2,5. podzemním podlažím a 0,9 m, 1,6 m v části pod 3. podzemním podlažím. Tato varianta a její vyztužení rovněž vyhověla na všechny posuzované mezní stavy.

2.7.4 Společné vlastnosti variant

Do obou výsledných variant byla navržena pravidelná ortogonální síť výztuže s osovou vzdáleností 100 mm prutů $\Phi 14$ mm – $\Phi 28$ mm. Základní síť byla v určitých místech pod sloupy doplněna další řadou, nebo dalšími řadami výztuže (max. 3 řady v jednom směru v desko-pilotové variantě, max. 2 řady v jednom směru desková varianta). Všechny varianty splňují požadavky na vodo-nepropustné konstrukce tzv. bílých van. Základové desky jsou

rozděleny pracovními spárami v maximální vzdálenosti nepřesahující 26 m. Do pracovních spár je navrženo těsnění. Krytí výztuže bylo pro vodo-nepropustné konstrukce bílých van zvoleno 50 mm.

2.8 Použité materiály

Všechny konstrukce jsou provedeny z monolitického železobetonu betonu. Požadované třídy betonu jsou uvedeny ve statickém výpočtu a výkresové dokumentaci. Vyztužení je provedeno **vázanou žebírkovou výztuží B 500B**.

Třídy betonu řešených konstrukcí:

- **Beton C25/30 XC2** – Piloty
 - Piloty d = 0,6 m; krytí = 110 mm
 - Piloty d = 0,9 m; krytí = 140 mm
 - Piloty d = 1,2 m; krytí = 170 mm
- **Beton C30/37 XD2 XF4** – Deskové vodo-nepropustné konstrukce, krytí 50 mm

2.9 Speciální konstrukce – Bílá vana

Navrhované varianty základové desky jsou navrženy v režimu tzv. bíle vany. Bílá vana je vodo-nepropustná konstrukce. Železobetonová konstrukce zde přejímá jak funkci nosnou, tak i funkci těsnící proti prosakující vodě. Návrh konstrukce bíle vany vychází z požadavků TP ČBS 02 [12].

Ucelený koncept bílých van je založen zejména na:

- Vodo-nepropustnosti betonu
- Omezení vzniku trhlin
- Rozdělení vzniklých trhlin
- Sanace trhlin

Konstrukční třída pro bedněné železobetonové stavební díly:

- Navržena třída Kon1
- Předpokládaná výška vodního sloupce 5 – 10 m
- Minimální tloušťka stavebního dílu $\geq 0,35$ m
- Omezení šířky trhlin $w \leq 0,2$ mm
- Normalizovaný beton BS 1
- Vzdálenost pracovních spár 15 – 30 m

Všechny navržené tloušťky konstrukcí vyhovují požadavkům TP ČBS 02.

Třída tlaku vody:

Předpokládá se výška vodního sloupce v rozmezí **5 – 10 m**. Třída tlaku vody je tedy **W₂**.

Těsnění pracovních spár:

- třída těsnících pásů 2
- min. šířka 320 mm
- min. tloušťka 4,5 mm

Bylo zvoleno těsnění:

- styk deska-deska: **Leschuplast A320**
- styk deska-stěny: **Leschuplast KAB 150**

Beton:

- Normalizovaný beton C25/30 BS1 C
- Stupeň vlivu prostředí XD2/XF4
- Vodní součinitel $w=0,4$
- Konzistence S4
- Třída ošetřování 3

3 Stavební postup

3.1 Pracovní plošina pro pilotáž

Uvedené hloubky základových spár jsou totožné s horní hranou podkladního betonu tloušťky 100 mm (beton C12/15). Před položením podkladních betonů musí být základová spára zpevněná na předepsaný modul deformace $E_{def} \geq 60$ MPa. Důvod tohoto postupu je ochrana základové spáry před degradací vlivem stavební činnosti během realizace základové konstrukce, jelikož základová spára se bude podílet na přenosu zatížení z horní stavby prostřednictvím základové desky.

Pracovní plošinu je doporučeno zřídit na úrovni základové spáry, nejlépe přímo z plochy podkladního betonu. Podkladní beton bude v místě lokálních prohlubní vynechán, tj. v místech kde se mění tloušťka základové desky. Tyto lokální plochy budou do horní úrovně podkladního betonu vyplněné štěrkoískem tak, aby umožňovaly pojezd pro stavební mechanizaci.

3.2 Provádění pilot

Piloty jsou navrženy jako vrtané. Piloty je možno provádět technologií CFA, nebo klasickou metodou vrtání pod ochranou pažnice. Při provádění pilot metodou CFA se kvalita zemního prostředí, postup betonáže a geometrie pilot kontroluje elektronickými snímači. Při realizaci metodou CFA je možno počítat s rychlejším časem realizace a je potřebné, aby byl pro každou pilotu zhotovený záznam o průběhu vrtání. Při vrtání pod ochranou pažnice je nutné, aby byla pažnice zavrtána na celou délku piloty.

3.3 Betonáž pilot

Při betonáži je nutné pilotu přebetonovat. Nesmí nastat situace, kdy po odbednění je beton piloty pod úrovní hlavy piloty. Piloty proto budou přebetonovány o více než 0,3 m. To zároveň umožní odstranění znehodnoceného betonu. Hlava bude dočištěna na požadovanou úroveň. Dodavatel musí zaručit, aby v úrovni hlavy piloty byl plnohodnotný beton a tělo piloty z celistvého monolitu (bez nadbetonávky hlavy). V případě pochybnosti je nutno zkontrolovat kvalitu betonu Schmidtovým kladívkem. Dodatečně ukládaný podkladní beton, v místech vyšší tloušťky desek, nesmí být uložen na hlavy pilot, bude uložen po bocích pilot.

3.4 Osazení armokošů pilot

Armokoš zajišťuje provázanost s budoucí základovou deskou. Před samotným osazením armokošů bude provedena jejich vstupní kontrola. Nesmí být překročeny směrové tolerance osazení pilot stanovených platnými normami. V případě jejich překročení je nutno vykonat individuální posouzení vlivu změna podepření na statiku základové desky. Kontrola výškové úrovně hlavy realizovaných pilot bude zkontrolována nivelačním přístrojem, taktéž posouzena dle platných norem, co se týče tolerance osazení.

Všeobecný přesah výztuže nad hlavu pilot je 600 cm. V pozicích pilot pod menší tloušťkou desky, kde výztuž přesahovala tloušťku desky, budou přesahové pruty výztuže odkloněny od svislé roviny tak, aby se bezpečně umístily do průřezu základové desky.

3.5 Osazení separačních folií

Na podkladní betonovou vrstvu budou osazeny separační folie pro dosažení kluzné vrstvy. Pro správnou funkci kluzné vrstvy musí být povrch podkladního betonu hladký, rovný a zbavený nečistot. Na takto upravený povrch bude položena (s přesahy) PEHD fólie tl. 0,75 mm, na ní vrstva netkané geotextilie a na ni (opět s přesahy) druhá PEHD fólie tl. 0,75 mm. Kluzná vrstva omezuje tření mezi podkladním betonem a základovou deskou a omezuje vznik tahových sil v základové desce.

3.6 Montáž bednění

Před samotným osazením bednění je nutná vstupní kontrola bednění. Bednicí práce je nutno provádět dle technologického postupu daného bednicího systému. Budoucí svislé hrany základových konstrukcí desky a stěn je nutno osadit XPS tl. 100 mm pro umožnění objemových změn. Ve výstupní kontrole je nutno zkontrolovat:

- Polohu a geometrii bednění
- Stabilitu, tuhost bednění a jeho součástí
- Odstranění zbytků předchozích betonáží a jiných nečistot, odstranění vody ze dna bednění
- Přípravenost povrchu bednění
- Poloha a správné provedení prostupů a otvorů v bednění

3.7 Výztuž základové desky

Před prováděním vyztužovacích prací je nutná výstupní kontrola bednění. Dále je nutná vstupní kontrola výztuže. Při vstupní je kontrolován soulad dodané výztuže s projektovou dokumentací. Kontroluje se zejména:

- Druh oceli
- Délky, tvary a průměry prutů
- Počty kusů
- Označení prutů
- Povrch výztuže
- Jakost

Spodní výztuž se uloží na distanční podložky z vláknobetonu, v poloze určené projektovou dokumentací na provedenou podkladní betonovou vrstvu tl. 100 mm (C12/15), s certifikátem pro použití ve vodo-nepropustných konstrukcích. Spínací prostředky bednění nesmí rovněž narušovat vodo-nepropustnost konstrukce v žádném místě. Dále budou osazeny třmínkové nosiče horní výztuže v maximální osově vzdálenosti 0,7 m v obou směrech, tato výztuž bude osazena do úrovně spodní řady spodní výztuže. Horní výztuž bude osazena na nosiče dle projektové dokumentace. Horní část nosiče bude ve stejné úrovni jako nejvyšší vrstva horní výztuže, druhá vrstva horní výztuže se provleče nosičem horní výztuže dle výkresové dokumentace. V souběhu s horní výztuží bude osazeno těsnění pracovních spár. Je nutné zajistit polohu a stabilitu těsnění po celou dobu vyztužování a betonáže. Těsnění pracovních spár bude osazeno v místech dle výkresové dokumentace. Pro těsnění styků deska-deska (styk dvou rovnoběžných desek) bude použito těsnění Leschuplast A 320. Pro těsnění styků deska-stěna bude použito těsnění Leschuplast KAB 150. Těsnění KAB 150 bude připevněno k horní výztuži základové desky. Současně bude osazeno těsnění všech prostupů tak, aby nebyla v žádném místě narušena vodo-nepropustnost konstrukce. Výztuž je nutno zajistit tak, aby byla po celou dobu armovacích prací i následné betonáže zajištěna její stabilita a poloha. Dle projektu vrchní stavby je nutno osadit „čekací“ výztuž vytaženou ze základové desky pro provázání s nadzákladovými konstrukce přilehlého podlaží. Povrch výztuže musí být před betonáží čistý. Před samotnou betonáží bude provedena výstupní kontrola.

3.8 Betonáž základové desky

Před samotnou betonáží je nutná výstupní kontrola výztuže a dodržení požadovaného krytí jednotlivých dílců. Betonáž ve vodě, ať už tekoucí nebo stojatá, je zakázána. Beton smí být uložen pouze na čistý podklad. Led, sníh, nebo jakýkoliv stavební odpad je nutno z místa betonáže odstranit. Betonáž bude probíhat v chladnějších měsících roku. Bude použit beton s pomalým nárůstem hydratačního tepla. Výška ukládání betonové směsi nesmí přesáhnout 1,0 m. Betonáž bude probíhat postupně, šachovnicově vzhledem k jednotlivým dílům dle rozdělení pracovními spárami. Betonáž dalšího celku započne vždy až po proběhnutí smrštění předchozích celků. V průběhu všech prací je nutno brát zvýšenou pozornost na neporušení všech těsnících prvků, neboť mají zásadní vliv na vodo-nepropustnou funkci konstrukce.

3.9 Ošetřování

Pro ošetřování je zvolena třída 3., specifikující nutnost ošetřování do doby dosažení min. 50 % charakteristické pevnosti betonu v povrchové vrstvě. Ošetřování bude uzpůsobeno klimatickým podmínkám. Konstrukce by měla být ponechána co nejdéle v bednění, min. však 36 hodin. Povrch bude opatřen parotěsnými světlými fóliemi, které je nutno zabezpečit na hranách a spojích proti odkrytí. Povrch a parotěsné plachty budou namočený. Povrch betonu bude dále udržován viditelně vlhký k tomu vhodnou vodou. Vlhčení betonu bude prováděno tzv. mlžením. Při ošetřování musí mít voda stejnou teplotu jako povrch betonu, aby se předešlo teplotním šokům a z nich vzešlého rozvoje trhlin. S ošetřováním je nutné začít neprodleně po uložení betonové směsi.

4 Závěr

Pro analýzu objektu jako celku, kdy je založení v interakci se zemínou, byla konstrukce založení modelována v programu Scia Engineer s modulem Soilin. Modul Soilin umožňuje modelování zeminy jako pružného poloprostoru. Zvláštní pozornost byla brána na vhodnou volbu podepření reprezentující piloty. Bylo provedeno srovnání jednotlivých možností jejich modelování. Piloty jsou modelovány jako nelineární bodové podpory, což by mělo nejlépe odpovídat jejich reálnému chování. Nelineární chování piloty je reprezentováno mezní zatěžovací křivkou spočtenou podle 2. mezní stavu pilot.

S takto vytvořeným modelem bylo přikročeno k posouzení původní varianty založení v systému desko-pilotovém. Vnitřní síly vzešlé z iteračního výpočtu lineárního a dále nelineárního výpočtu (pro zohlednění nelineárního chování pilot) byly dále posouzeny dle

platných norem. Původní varianta se ukázala jako nevyhovující na mezní stav únosnosti v protlačení. Navržené tloušťky desky nebyly schopny s dostatečnou spolehlivostí odolávat vertikálním silám vrchní stavby v obvodech na okraji sloupů nebo v jejich těsné blízkosti. To je způsobeno zejména relativně nízkou tuhostí pilot vzhledem k daným vlastnostem zeminy. Piloty tedy nejsou schopny v určitých místech přebírat více než cca 10 % vertikálních sil.

Desko-pilotová varianta byla upravena s ohledem na předchozí nedostatky. Tloušťka desek byla odstupňována na 0,6 m pod 2,5. podzemním podlažím a 0,7 m, 1,0 m, 1,3 m pod 3. podzemním podlažím. Tato volba tlouštěk desek se ukázala jako vyhovující na protlačení. Takto upravená varianta byla použita k podrobnějšímu posouzení a návrhu výztuže. Piloty byly posouzeny na 1. a 2. mezní stav pomocí vytvořeného výpočtu v tabulkovém procesoru Excel. Tento výpočet byl dále ověřen pomocí programu GEO 5. Do pilot byla navržena výztuž. Byly určeny požadavky na zaručení vodo-nepropustnosti základové desky. Zejména pak tloušťka jednotlivých dílů, těsnění spár a omezení velikosti trhlin. Dále byla nadimenzována podélná výztuž základové desky s ohledem na mezní stav únosnosti na ohybový moment a mezní stav použitelnosti na omezení šířky trhlin. Jednotlivé tloušťky desky byly posouzeny v nejvíce namáhaných místech na mezní stav protlačení. Tato upravená desko-pilotová varianta vyhověla na všechny posuzované mezní stavy a požadavky na vodo-nepropustné betonové konstrukce.

Druhou variantou založení byla, vzhledem k diskutabilnímu příspěvku pilot do únosnosti desko-pilotového systému, zvolena varianta desková bez pilot. Tloušťka desek byla s ohledem na mezní stav únosnosti v protlačení zvolena 0,8 m pod 2,5. podzemním podlažím a 0,9 m a 1,6 m pod 3. podzemním podlažím. Takto navržená deska splňuje požadavky na tloušťku dílců vodo-nepropustné konstrukce v režimu bíle vany. Dále byla navržena výztuž do této varianty. Výztuž vyhověla na požadavky mezního stavu únosnosti na ohybový moment a mezního stavu použitelnosti na omezení šířky trhlin. Jednotlivé tloušťky desky vyhověly v nejvíce namáhaných místech na mezní stav protlačení.

Založení objektu bylo navrženo ve dvou variantách. Obě varianty byly posouzeny dle platných norem a předpisů. Navržené konstrukce a použité postupy jsou v souladu s platnou legislativou, normativními předpisy platnými na území Evropské unie ČSN EN 199-1-1, ČSN 73 1201:2010, ČSN EN 1997-1 a technickými pravidly české betonářské společnosti TP ČBS 02. Dále byla zpracována výkresová dokumentace vybraných částí. Obě vyhovující varianty byly vzájemně porovnány. V porovnání byla posuzována následující kritéria: množství betonu a hmotnost výztuže pro realizaci dané varianty. Z porovnání vzešla lépe varianta desková bez pilot. Tato varianta má o cca 7 % větší objem betonu, ale dojde u ní k úspoře cca 11 % výztuže. Desková varianta eliminuje některé výškové skoky v konstrukci, což má pozitivní vliv z hlediska

omezení rozvoje trhlin. Zároveň je její statické působení jasnější, protože se o přenesení sil vrchní stavby stará pouze základová deska. I přes mírné navýšení výkopových prací, vzhledem k vyšší tloušťce jednotlivých desek, zcela odpadá nutnost provádění pilot a s tím spojených opatření.

5 Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN 1990 ed. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004.
- [3] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] ČSN EN 1992-1-1 Z3. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [5] ČSN EN 1997-1: *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [6] ČSN 73 1201. *Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [7] ZICH, Miloš a Zdeněk BAŽANT. *Plošné betonové konstrukce, nádrže a zásobníky*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 161 s. ISBN 978-80-7204-693-5.
- [8] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010.
- [9] PROCHÁZKA, Jaroslav. *Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. 1. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010.
- [10] MASOPUST, Jan. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2012.
- [11] Leschuplast GLT Speciální výrobky ve stavebnictví. Leschuplast-glt [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: http://www.leschuplast-glt.de/kat/fugenband_cz.pdf

[12] *Bílé vany: vodotěsné betonové konstrukce : technická pravidla ČBS 02. 2., upr. vyd.* Praha: ČBS Servis, 2007.

[13] *Bílé vany: vodonepropustné betonové konstrukce : sbírka přednášek, příkladů a prezentací ke školení.* Praha: ČBS Servis, 2007.

[14] ČSN EN 1536. *Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

6 Použitý software

Autodesk AutoCAD 2017 – studijní licence

Graphisoft ArchiCAD 19 – studijní licence

SCIA Engineer 16.1 – studijní licence

GEO5 – studijní licence

IDEA StatiCa 7 – studijní licence

Microsoft Office 2016

7 Seznam použitých zkratk a symbolů

A_c	plocha betonu
$A_{c,eff}$	efektivní tažená plocha
A_i	plocha ideálního průřezu
A_p	plocha piloty
A_s	plocha výztuže
A_{smax}	maximální plocha výztuže
A_{smin}	minimální plocha výztuže
b	šířka průřezu
c	krytí výztuže
d	účinná výška průřezu
E_{def}	deformační modul
f_{bd}	napětí v soudržnosti
g_d	stálé návrhové zatížení
g_k	proměnné charakteristické zatížení
h	mocnost vrstvy zeminy
$h_{c,eff}$	výška efektivní tažené oblasti
h_w	výška vodního sloupce
I_i	moment setrvačnosti ideálního průřezu

l_{bd}	návrhová kotevní délka
l_{bmin}	minimální kotevní délka
l_0	návrhová délka přesahu
l_{0min}	minimální délka přesahu
M_{cr}	moment na mezi vzniku trhlin
M_{Ed}	návrhový moment (MSÚ)
M_{Rd}	moment na mezi únosnosti
m_{xD-}	dimenzační moment x u spodního povrchu (MSÚ)
m_{xD+}	dimenzační moment x u horního povrchu (MSÚ)
m_{yD-}	dimenzační moment y u spodního povrchu (MSÚ)
m_{yD+}	dimenzační moment y u horního povrchu (MSÚ)
$m_{xD\psi_2-}$	dimenzační moment x u spodního povrchu (kvazistálý)
$m_{yD\psi_2+}$	dimenzační moment y u horního povrchu (kvazistálý)
m_x	moment kolem osy x
m_y	moment kolem osy y
m_{xy}	kroutící moment xy
q_d	proměnné návrhové zatížení
q_k	proměnné charakteristické zatížení
R_d	návrhová únosnost zeminy
R_{bu}	mezní únosnost piloty
R_{pu}	mezní únosnost v patě
R_{su}	mezní únosnost piloty na plášti
R_y	síla na mezi mobilizace plášťového tření
$S_{r,max}$	maximální vzdálenost trhlin
S_s	osová vzdálenost výztuže
S_y	sedání odpovídající mobilizaci plášťového tření
u	obvod
U_{vd}	svislá návrhová únosnost piloty
U_{bd}	návrhová únosnost paty piloty
U_{fd}	návrhová únosnost na plášti piloty
V_{Ed}	posouvající síla od zatížení (MSÚ)
V_p	reakce v pilotě (MSÚ)
w_k	šířka trhlin
w_{lim}	limitní šířka trhlin
x_{ir}	tlačená výška betonového průřezu s trhlinou

x	tlačená výška betonového průřezu
z_{gc}	souřadnice těžiště betonového průřezu
x_{ir}	tlačená výška betonu
α_e	Poměr modulů pružnosti
β	vliv ohybového momentu
γ	objemová hmotnost zeminy
γ_m	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
γ_{r1}	součinitel podmínek působení základové půdy
γ_{r2}	součinitel vlivu technologie provádění pilot
ϵ_c	přetvoření betonu
ϵ_s	přetvoření výztuže
V_{Ed}	Návrhové napětí v kontrolovaném obvodu od zatížení
$V_{Rd,c}$	napětí v betonu v kontrolovaném průřezu na mezi únosnosti
$\rho_{p,eff}$	Vyztužení efektivní tažené oblasti
ρ_l	vyztužení průřezu
σ_{xi}	kontaktní napětí v u-té vrstvě
σ_{ori}	geostatické napětí v i-té vrstvě
σ_s	napětí ve výztuži
σ_w	pórový tlak
σ_z	kontaktní napětí
σ_0	zemní tlak v klidu
Φ	průměr

8 Seznam příloh

P1. Použité podklady

P2. Varianty řešení

P3. Statický výpočet

P4. Výkresová dokumentace